

02 P 06263

B2

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3739070 A1**

②① Aktenzeichen: P 37 39 070.8  
②② Anmeldetag: 17. 11. 87  
②③ Offenlegungstag: 26. 5. 88

⑤① Int. Cl. 4:  
**F25D 3/10**  
H 01 F 7/22  
H 01 F 5/08

DE 3739070 A1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
18.11.86 JP P 274891/86

⑦① Anmelder:  
Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP

⑦④ Vertreter:  
Henkel, G., Dr.phil.; Feiler, L., Dr.rer.nat.; Hänzel, W.,  
Dipl.-Ing.; Kottmann, D., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte,  
8000 München

⑦② Erfinder:  
Kuriyama, Toru, Yokohama, JP; Hakamada, Ryuichi,  
Tokio/Tokyo, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Heliumkühlgerät

Die Erfindung betrifft ein Heliumkühlgerät (21) mit einem Flüssighelium-Behälter (23), der Flüssighelium (24) speichert, und einem Kondensationsraum (35), der einen Kondensations-Wärmetauscher (34) zum Kondensieren von gasförmigem Helium in Flüssighelium enthält. Eine Verbindungsleitung (55) stellt eine Verbindung zwischen dem Flüssighelium-Behälter (23) und dem Kondensationsraum (35) her. Die Verbindungsleitung (55) umfaßt einen Heliumgas-Strömungsweg oder -Durchgang (58) und einen Flüssighelium-Strömungsweg oder -Durchgang (59), die voneinander getrennt sind. Wenn das Flüssighelium (24) im Flüssighelium-Behälter (23) zu gasförmigem Helium verdampft wird, wird dieses gasförmige Helium über den Heliumgas-Durchgang (58) zum Kondensationsraum (35) geleitet. Durch den Kondensations-Wärmetauscher (34) wird das gasförmige Helium durch Kondensation in Flüssighelium überführt, das sodann über den Flüssighelium-Durchgang (59) in den Flüssighelium-Behälter (23) (zurück) geleitet wird.

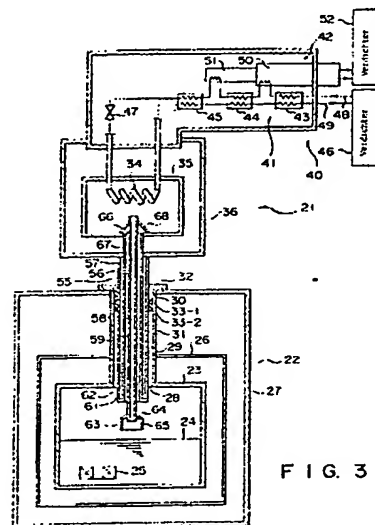


FIG. 3

DE 3739070 A1

## Patentansprüche

1. Heliumkühlgerät, umfassend einen Flüssigkeits-helium-Behälter (23), der Flüssighelium (24) speichert, einen einen Kondensations-Wärmetauscher (34) zum Kondensieren von gasförmigem Helium zu Flüssighelium enthaltenden Kondensationsraum (35) und eine Verbindungsleitung (transfer tube) (55) zur Verbindung des Flüssighelium-Behälters (23) mit dem Kondensationsraum (35), dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleitung (55) einen Heliumgas-Strömungsweg oder -Durchgang (58) und einen von diesem getrennten Flüssighelium-Strömungsweg oder -Durchgang (59) aufweist, wobei dann, wenn im Flüssighelium-Behälter (23) enthaltenes Flüssighelium (24) zu gasförmigem Helium verdampft, das gasförmige Helium über den Heliumgas-Durchgang (58) in den Kondensationsraum (35) überführbar und durch den Kondensations-Wärmetauscher (34) zu Flüssighelium kondensierbar ist und das Flüssighelium über den Flüssighelium-Durchgang (59) zum Flüssighelium-Behälter (23) (zurück) leitbar ist.

2. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Heliumgas-Durchgang (58) und der Flüssighelium-Durchgang (59) jeweils Querschnittsflächen aufweisen, welche einem Verhältnis (Querschnittsfläche des Heliumgas-Durchgangs)/(Querschnittsfläche des Flüssighelium-Durchgangs) von 0,15 – 0,85 entsprechen.

3. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleitung (55) ein Innenrohr (56) mit einem Innenraum, einem im Kondensationsraum (35) mündenden oberen Endabschnitt und einem im Flüssighelium-Behälter (23) mündenden unteren Endabschnitt, und ein das Innenrohr (56) umgebendes oder umschließendes Außenrohr (57) aufweist, dessen Durchmesser größer ist als der des Innenrohrs (56) und mit letzterem einen Zwischenraum festlegt und das einen im Kondensationsraum (35) mündenden oberen Endabschnitt sowie einen im Flüssighelium-Behälter (23) mündenden unteren Endabschnitt umfaßt, so daß der Innenraum des Innenrohrs (56) den Heliumgas-Durchgang (58) und der Zwischenraum zwischen Außen- und Innenrohr (57 bzw. 56) den Flüssighelium-Durchgang (59) festlegen.

4. Gerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Außenrohr (57) ein erstes Rohr (61) und ein das erste Rohr (61) mit einem vorbestimmten Abstand dazu umschließendes zweites Rohr (62) umfaßt.

5. Gerät (21) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleitung (55) ein Innenrohr (56) mit einem im Kondensationsraum (35) mündenden oberen Endabschnitt und einem im Flüssighelium-Behälter (23) mündenden unteren Endabschnitt sowie ein einen größeren Durchmesser als das Innenrohr (56) besitzendes und letzteres umschließendes Außenrohr (57) mit einem im Kondensationsraum (35) mündenden oberen Endabschnitt und einem im Flüssighelium-Behälter (23) mündenden unteren Endabschnitt aufweist, wobei ein Innenraum im Innenrohr (56) den Flüssighelium-Durchgang (59) und ein Zwischenraum zwischen Außen- und Innenrohr (57 bzw. 56) den Heliumgas-Durchgang (58) festlegen.

6. Gerät nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Außenrohr (57) ein erstes Rohr (61) und ein das erste Rohr (61) mit einem vorbestimmten Abstand dazu umschließendes zweites Rohr (62) aufweist.

7. Heliumkühlgerät, umfassend einen Flüssighelium-Behälter (23), der Flüssighelium (24) speichert, einen einen Kondensations-Wärmetauscher (34) zum Kondensieren von gasförmigem Helium zu Flüssighelium enthaltenden Kondensationsraum (35) und eine Verbindungsleitung (55) zur Verbindung des Flüssighelium-Behälters (23) mit dem Kondensationsraum (35), dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleitung (55) umfaßt:

ein Innenrohr (56) mit einem im Kondensationsraum (35) mündenden oberen Endabschnitt und einem im Flüssighelium-Behälter (23) mündenden unteren Endabschnitt,

ein einen größeren Durchmesser als das Innenrohr (56) aufweisendes und letzteres umgebendes oder umschließendes Außenrohr (57) mit einem im Kondensationsraum (35) mündenden oberen Endabschnitt und einem im Flüssighelium-Behälter (23) mündenden unteren Endabschnitt,

eine Heliumgas-Leiteinrichtung zum Trennen des im Flüssighelium-Behälter (23) verdampften gasförmigen Heliums vom Flüssighelium und zur Führung des gasförmigen Heliums zu einem Innenraum des Innenrohrs (56) zwecks Festlegung des Innenraums des Innenrohrs (56) als Heliumgas-Strömungsweg oder -Durchgang (58) und

eine Flüssighelium-Leiteinrichtung zum Trennen des im Kondensationsraum (35) kondensierten Flüssigheliums vom gasförmigen Helium und zum Führen des Flüssigheliums zu einem Zwischenraum zwischen Innen- und Außenrohr (56 bzw. 57) zwecks Festlegung des Zwischenraums zwischen Innen- und Außenrohr (56 bzw. 57) als Flüssighelium-Strömungsweg oder -Durchgang (59), so daß dann, wenn im Flüssighelium-Behälter (23) enthaltenes Flüssighelium (24) zu gasförmigem Helium verdampft, letzteres über den Innenraum des Innenrohrs (56) zum Kondensationsraum (35) geleitet und durch den Kondensations-Wärmetauscher (34) zu Flüssighelium kondensiert wird und das Flüssighelium über den Zwischenraum zwischen Innen- und Außenrohr (56 bzw. 57) zum Flüssighelium-Behälter (23) (zurück) geleitet wird.

8. Gerät nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Heliumgas-Leiteinrichtung ein Leitelement (63) aufweist, das am unteren Endabschnitt des den unteren Endabschnitt des Außenrohrs (57) durchsetzenden Innenrohrs (56) montiert ist, das im Flüssighelium-Behälter (23) verdampfte gasförmige Helium in den Innenraum des Innenrohrs (56) einleitet und das im Zwischenraum zwischen Innen- und Außenrohr (56, 57) herabtropfende Flüssighelium vom gasförmigen Helium trennt und das Flüssighelium herabtropfen läßt.

9. Gerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Leitelement (63) ein kegelstumpfförmiges Element (64) aufweist, das ein offenes oberes Ende eines kleinen Durchmessers und ein offenes unteres Ende eines größeren Durchmessers besitzt, wobei das offene obere Ende mit dem unteren Endabschnitt des Innenrohrs (56) verbunden ist.

10. Gerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Leitelement (63) einen Zylinder (65)

aufweist, der mit dem offenen unteren Ende des kegelstumpfförmigen Elements (64) verbunden ist, ein unteres offenes Ende aufweist und dessen Innendurchmesser größer ist als der Außendurchmesser des Innenrohrs (56).

11. Gerät nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Kondensationsraum (33) einen Zulaß (66) aufweist, die Heliumgas-Leiteinrichtung so angeordnet ist, daß der obere Endabschnitt des Außenrohrs (56) mit dem Zulaß (66) des Kondensationsraums (35) verbunden ist, und der obere Endabschnitt des Innenrohrs sich durch den Zulaß (66) des Kondensationsraums (35) hindurch in letzteren hinein erstreckt.

12. Heliumkühlgerät, umfassend einen Flüssighelium-Behälter (23), der Flüssighelium (24) speichert, einen einen Kondensations-Wärmetauscher (34) zum Kondensieren von gasförmigem Helium zu Flüssighelium enthaltenden Kondensationsraum (35) und eine Verbindungsleitung (55) zur Verbindung des Flüssighelium-Behälters (23) mit dem Kondensationsraum (35), dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleitung (55) umfaßt: ein Innenrohr (56) mit einem im Kondensationsraum (35) mündenden oberen Endabschnitt und einem im Flüssighelium-Behälter (23) mündenden unteren Endabschnitt,

ein einen größeren Durchmesser als das Innenrohr (56) besitzendes und letzteres umschließendes Außenrohr (57) mit einem im Kondensationsraum (35) mündenden oberen Endabschnitt und einem im Flüssighelium-Behälter (23) mündenden unteren Endabschnitt,

eine Heliumgas-Leiteinrichtung zum Trennen des im Flüssighelium-Behälter (23) verdampften gasförmigen Heliums vom Flüssighelium und zum Führen des gasförmigen Heliums zu einem Zwischenraum zwischen Innen- und Außenrohr (56 bzw. 57) zwecks Festlegung des Zwischenraums zwischen Innen- und Außenrohr (56 bzw. 57) als Heliumgas-Strömungsweg oder -Durchgang (58) und eine Flüssighelium-Leiteinrichtung zum Trennen des im Kondensationsraum (35) kondensierten Flüssigheliums vom gasförmigen Helium und Leiten des Flüssigheliums zu einem Innenraum des Innenrohrs (56) zwecks Festlegung des Innenraums des Innenrohrs (56) als Flüssighelium-Strömungsweg oder -Durchgang (59), so daß dann, wenn das im Flüssighelium-Behälter (23) enthaltene Flüssighelium (24) zu gasförmigem Helium verdampft, letzteres über den Zwischenraum zwischen Innen- und Außenrohr (56, 57) zum Kondensationsraum (35) geführt und durch den Kondensations-Wärmetauscher (34) zu Flüssighelium kondensiert wird und das Flüssighelium (sodann) über den Innenraum des Innenrohrs (56) zum Flüssighelium-Behälter (23) (zurück) geleitet wird.

13. Gerät nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Heliumgas-Leiteinrichtung so angeordnet ist, daß sich der untere Endabschnitt des Innenrohrs (56) durch den unteren Endabschnitt des Außenrohrs (57) hindurch in den Flüssighelium-Behälter (23) hinein erstreckt.

14. Gerät nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der untere Endabschnitt des Innenrohrs (56) schräg geschnitten ist.

15. Gerät nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,

net, daß die Flüssighelium-Leiteinrichtung eine Auffang-Wanne (70) aufweist, die an dem sich durch den oberen Endabschnitt des Außenrohrs (57) in den Kondensationsraum (35) erstreckenden oberen Endabschnitt des Innenrohrs (56) montiert und unterhalb des Kondensations-Wärmetauschers (34) angeordnet ist und die das kondensierte Flüssighelium auffängt und zum Innenraum des Innenrohrs (56) leitet.

16. Gerät nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Auffang-Wanne (70) eine zylindrische (oder konische) Seitenwand (71) und eine mit letzterer verbundene Bodenwand (73) aufweist, die mit einer an den oberen Endabschnitt des Innenrohrs (56) angeschlossenen Öffnung (72) versehen ist.

#### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Heliumkühlgerät zum Kühlen des in einem Flüssighelium-Behälter verdampften gasförmigen Heliums und Rückkondensieren desselben zu flüssigem Helium, insbesondere ein Heliumkühlgerät mit einer Verbindungsleitung zum Verbinden eines Flüssighelium-Behälters mit einem einen Kondensations-Wärmetauscher aufweisenden Kondensationsraum und zum Zuführen des kondensierten Flüssigheliums sowie des verdampften gasförmigen Heliums.

Ein bisheriges Heliumkühlgerät besitzt den in Fig. 1 gezeigten Aufbau. Das Heliumkühlgerät 1 umfaßt einen Flüssighelium-Behälter 3, der flüssiges Helium oder Flüssighelium 6 mit einem vorbestimmten Flüssigkeitsfüllstand speichert, und einen Kondensationsraum 5, der einen Kondensations-Wärmetauscher 4 enthält. Der Behälter 3 ist in einem Kryostaten 2 angeordnet. Ein zu kühlendes Objekt 7 (z.B. ein supraleitender Magnet) ist in das Flüssighelium 6 im Behälter 3 eingetaucht, der seinerseits einen Zulaß 9 aufweist, mit dem ein(e) zur Außenatmosphäre hin offene(s) Leitung oder Rohr 10 verbunden ist. Der Flüssighelium-Behälter 3 kommuniziert mit dem Kondensationsraum 5 über die Verbindungsleitung (transfer tube) 11, die in das Rohr 10 und den Zulaß 9 eingesetzt ist. Der Kondensations-Wärmetauscher 4 ist mit einem Kälteapparat 8 für die Zufuhr eines Kältemittels zum Wärmetauscher verbunden.

Das im Flüssighelium-Behälter 3 enthaltene Flüssighelium 6 wird durch die von der Außenatmosphäre zum Behälter 3 übertragene Wärmeenergie allmählich verdampft. Das verdampfte gasförmige Helium wird über die Verbindungsleitung 11 in den Kondensationsraum 5 überführt. Die Temperatur einer Wärme(ab)leitfläche des Kondensations-Wärmetauschers 4 ist auf 4,2K eingestellt. Durch den Wärmetauscher 4 wird das gasförmige Helium wieder zu Flüssighelium kondensiert, das dann unter Schwerkrafteinfluß in der Verbindungsleitung 11 absinkt und in den Behälter 3 zurückströmt. Die im Behälter 3 enthaltene Menge an Flüssighelium 6 wird damit konstant gehalten, so daß das Objekt 7 zufriedenstellend gekühlt werden kann.

Wenn die zum Flüssighelium-Behälter 3 übertragene Wärmeenergie(menge) zunimmt, nimmt auch die Menge des im Flüssighelium-Behälter 3 verdampften gasförmigen Heliums zu. Infolgedessen erhöht sich die Strömungs- oder Durchsatzmenge des die Verbindungsleitung 11 in Aufwärtsrichtung durchströmenden gasförmigen Heliums, wobei das durch die Verbindungsleitung 11 absinkende (abwärts strömende) Flüssighelium mit dem gasförmigen Helium in Aufwärtsrichtung mitgerissen wird. Dabei wird insbesondere das Innere der

Verbindungsleitung 11 durch das in ersterer aufsteigende gasförmige Helium blockiert, so daß das Flüssighelium nicht (mehr) durch die Verbindungsleitung 11 absinken kann (dies wird als "Stauerscheinung" bezeichnet). Als Ergebnis wird das im Flüssighelium-Behälter 3 befindliche Flüssighelium 6 durch die von der Außenatmosphäre auf den Behälter 3 übertragene Wärmeenergie fortlaufend verdampft, wobei die im Behälter 3 enthaltene Menge an Flüssighelium 6 abnimmt. Unter diesen Bedingungen wird die einwandfreie Kühlung des Objekts 7 schwierig.

Die Stauerscheinung (flooding phenomenon) bestimmt sich durch den Innendurchmesser der Verbindungsleitung, die Strömungsmenge des durch diese Leitung 11 absinkenden Flüssigheliums und die Strömungsmenge des durch diese Leitung 11 aufsteigenden gasförmigen Heliums. Die Strömungsmengen von Flüssighelium und gasförmigem Helium bestimmen sich durch die von der Außenatmosphäre zum Flüssighelium-Behälter 3 übertragene Wärmeenergie(menge).

Erfindungsgemäß wurden mit dem bisherigen Heliumkühlgerät verschiedene Versuche zur Ermittlung der Beziehung zwischen dem Flüssigheliumspiegel im Behälter 3 und dem Zeitablauf sowie der Beziehung zwischen dem Flüssigheliumspiegel im Kondensationsraum 5 und dem Zeitablauf durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurde eine Verbindungsleitung 11 des Heliumkühlgeräts von 5 mm Innendurchmesser verwendet; von der Außenatmosphäre her wurde(n) dabei Wärmeenergie(mengen) von 0,5 W und 0,7 W zum Flüssighelium-Behälter 3 übertragen.

Wie sich aus Fig. 2 ergibt, bleibt bei einer Übertragung einer Wärmeenergie(menge) von 0,5 W zum Flüssighelium-Behälter 3 der Flüssigheliumspiegel in letzterem unabhängig von der Zeit konstant. Bei Zufuhr einer Wärmeenergie(menge) von 0,7 W zum Flüssighelium-Behälter 3 tritt dagegen die Stauerscheinung auf. Mit anderen Worten: der größte Teil des im Flüssighelium-Behälter 3 befindlichen Flüssigheliums wird (dabei) durch die Wärmeenergie verdampft und damit in gasförmiges Helium überführt, das sodann über die Verbindungsleitung 11 dem Kondensationsraum 5 zugeführt wird. Dabei wird das Innere der Verbindungsleitung 11 durch das durch letztere aufsteigende gasförmige Helium blockiert, so daß das Flüssighelium aus dem Kondensationsraum 5 nicht mehr durch die Verbindungsleitung 11 abwärts strömen bzw. absinken kann. Bei Zufuhr einer Wärmeenergie(menge) von 0,7 W zum Flüssighelium-Behälter 3 sinkt daher der Flüssigkeitsspiegel im Behälter 3 ab, während der Flüssigkeitsspiegel im Kondensationsraum 5 ansteigt. Wenn die Verbindungsleitung 11 einen Innendurchmesser von 5 mm aufweist, kann daher das Heliumkühlgerät nicht eine Kühlkapazität oder -leistung von 0,7 W oder mehr aufweisen. Wenn beispielsweise der Kälteapparat (refrigerator) 8 eine Kälteleistung von 4–5 W und der Kondensations-Wärmetauscher 4 eine Kondensationsleistung von 4–5 W besitzen, beträgt die tatsächlich für die Kondensation aufgewandte Energie 0,7 W oder weniger. Zur Vermeidung der Stauerscheinung und zur Maximierung der Kondensationsleistung des Heliumkühlgeräts muß daher der Innendurchmesser der Verbindungsleitung vergleichsweise groß sein.

Wenn der Innendurchmesser der Verbindungsleitung 11 vergleichsweise groß ist, müssen die Abmessungen des Zulasses 9 und des Rohrs 10, in welche jeweils die Verbindungsleitung 11 eingesetzt ist, vergrößert werden. Infolgedessen nimmt die von der Außenatmosphä-

re zum Flüssighelium-Behälter 3 über Zulaß 9 und Rohr 10 zugeführte Wärmeenergie(menge) zu. Mit anderen Worten: mit einer Vergrößerung des Innendurchmessers der Verbindungsleitung können die Stauerscheinung in der Verbindungsleitung verhindert und eine zufriedenstellende Kühlleistung des Heliumkühlgeräts erzielt werden. Andererseits nimmt aber die zum Flüssighelium-Behälter übertragene Wärmeenergie(menge) in unerwünschter Weise zu. Aus diesem Grund muß der Innendurchmesser der Verbindungsleitung verkleinert werden. In diesem Fall tritt allerdings (wieder) die Stauerscheinung auf, so daß eine zufriedenstellende Kühlleistung des Geräts nicht erreicht werden kann.

Es ist daher schwierig, eine zufriedenstellende Kühlleistung des Heliumkühlgeräts zu erzielen, wenn die Verbindungsleitung einen kleinen Innendurchmesser aufweisen und eine Stauerscheinung verhindert werden soll. Dies bedeutet, daß mit einer kompakten Bauweise des Geräts eine zufriedenstellende Kühlleistung des Heliumkühlgeräts schwierig zu erzielen ist.

Aufgabe der Erfindung ist damit die Schaffung eines kompakt gebauten und eine zufriedenstellende Kühlleistung aufweisenden Heliumkühlgeräts, bei dem das Auftreten einer Stauerscheinung auch dann vermieden werden soll, wenn der Innendurchmesser einer Verbindungsleitung nicht vergrößert ist.

Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst.

Gegenstand der Erfindung ist ein Heliumkühlgerät mit einem Flüssighelium speichernden Flüssighelium-Behälter und mit einem Kondensationsraum, der einen Kondensations-Wärmetauscher zum Kondensieren von gasförmigem Helium zu Flüssighelium enthält. Der Flüssighelium-Behälter steht über eine Verbindungsleitung (transfer tube) mit dem Kondensationsraum in Verbindung. Die Verbindungsleitung enthält getrennte Strömungswege bzw. Durchgänge (flow paths) für gasförmiges Helium und Flüssighelium.

Wenn das im Flüssighelium-Behälter enthaltene Flüssighelium verdampft und damit in gasförmiges Helium überführt wird, wird letzteres durch den Heliumgas-Durchgang in den Kondensationsraum geleitet und dann in diesem zu Flüssighelium kondensiert, das sodann über den Flüssighelium-Durchgang in den Flüssighelium-Behälter geleitet wird. Dies bedeutet, daß die Heliumgas- und Flüssighelium-Durchgänge in der Verbindungsleitung voneinander getrennt sind. Aus diesem Grund stört das gasförmige Helium in keiner Weise das Flüssighelium, weil beide Komponenten (oder Phasen) getrennte Durchgänge durchströmen können. Infolgedessen wird das Auftreten einer Stauerscheinung in der Verbindungsleitung vermieden. Auch wenn der Innendurchmesser der Verbindungsleitung nicht vergleichsweise groß ist, wird die Kühlkapazität oder -leistung des Heliumkühlgeräts nicht beeinträchtigt. Mit der Erfindung wird mithin ein kompakt gebautes Heliumkühlgerät mit einer zufriedenstellenden Kühlleistung geschaffen.

Im folgenden sind bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine (schematische) Schnittdarstellung eines herkömmlichen Heliumkühlgeräts,

Fig. 2 eine graphische Darstellung der Zeitabhängigkeit des Flüssigheliumspiegels oder -füllstands in einem Flüssighelium-Behälter sowie des Flüssigheliumspiegels in einem Kondensationsraum,

Fig. 3 eine (schematische) Schnittdarstellung eines

Heliumkühlgeräts gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 4 eine (schematische) Schnittdarstellung eines Heliumkühlgeräts gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 5 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Kühlkapazität oder -leistung und dem Querschnittsflächenverhältnis der Durchgänge sowie

Fig. 6 eine graphische Darstellung der Ergebnisse von mit dem erfindungsgemäßen Heliumkühlgerät durchgeführten Versuchen zur Veranschaulichung einer Beziehung zwischen einer dem Flüssighelium-Behälter zugeführten Wärmeenergie(menge) und dem im Flüssighelium-Behälter herrschenden Druck.

Die Fig. 1 und 2 sind eingangs bereits erläutert worden.

Das in Fig. 3 dargestellte Heliumkühlgerät 21 gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung weist einen Flüssighelium-Behälter 23 auf, der Flüssighelium 24 mit einer vorbestimmten Füllhöhe speichert. In das Flüssighelium 24 ist ein zu kühlendes Objekt 25 (z.B. ein supraleitender Magnet) eingetaucht. Der Flüssighelium-Behälter 23 ist in einem Kryostaten 22 angeordnet, der seinerseits eine den Behälter 23 abdeckende oder abschirmende Wärmeabschirm-Platte 26 und eine die Wärmeabschirm-Platte 26 einschließende Vakuumkammer 27 aufweist. Ein Raum zwischen dem Behälter 23 und der Platte 26 sowie ein Raum zwischen der Platte 26 und der Vakuumkammer 27 werden in einem evakuierten Zustand gehalten. Der Flüssighelium-Behälter 23 ist dabei nach außen hin isoliert. Im Mittelbereich der oberen Wand des Behälters 23 ist ein kreisförmiger Zulaß (port) 28 ausgebildet. In den Mittelbereichen der oberen Wände von Wärmeabschirm-Platte 26 und Vakuumkammer 27 sind jeweils Öffnungen oder Bohrungen 29 bzw. 30 ausgebildet, wobei ein Rohr 31 mit dem Zulaß 28 und den Bohrungen 29 und 30 verbunden bzw. in diese eingesetzt ist. Das Innere des Flüssighelium-Behälters 23 kommuniziert über das Rohr 31 mit der Außenatmosphäre. In das Innere des Rohrs 31 ist eine noch zu beschreibende Verbindungsleitung 55 (koaxial) eingesetzt. Ein in die obere Wand der Vakuumkammer 27 eingesetzter zylindrischer Stopfen (32) dichtet einen Zwischenraum zwischen der Innenfläche des oberen Endabschnitts des Rohrs 31 und der Außenfläche der Verbindungsleitung (transfer tube) 55 ab. Zwei unter dem Stopfen 32 angeordnete Dichtungen 33-1 und 33-2 dienen zur Abdichtung eines Zwischenraums zwischen der Innenfläche des oberen Endabschnitts des Rohrs 31 und der Außenfläche der Verbindungsleitung 55. Der Innenraum des Flüssighelium-Behälters 23 ist somit gegenüber der Außenatmosphäre abgedichtet. Das Rohr 31 dient auch für die Zufuhr von Flüssighelium zum Rückgewinnen (Rückführen) von Flüssighelium und zum Hindurchführen von Stromspeiseleitungen.

Das Heliumkühlgerät 21 weist einen einen Kondensations-Wärmetauscher 34 enthaltenden Kondensationsraum 35 auf, der in einer Vakuumkammer 36 untergebracht ist. Der Wärmetauscher 34 ist mit einem Kälteapparat 40 für die Zufuhr eines Kältemittels zu diesem Wärmetauscher verbunden. Der Kälteapparat 40 umfaßt erste und zweite Kühlsysteme 41 und 42, bei denen es sich jeweils um geschlossene Systeme handelt. Das erste Kühlsystem 41 enthält drei Wärmetauscher 43, 44 und 45. Der Wärmetauscher 43 ist dabei mit einem Kompressor bzw. Verdichter 46 verbunden. Eine Auslaßleitung 48 ist über die Wärmetauscher 43-45 mit einem Joule-Thomson-Ventil 47 verbunden, das an den

Kondensations-Wärmetauscher 34 angeschlossen ist. Eine vom Wärmetauscher 34 abgehende Rücklaufleitung 49 ist über die Wärmetauscher 43-45 mit dem Verdichter 46 verbunden. Das die Auslaßleitung (outgoing line) 48 durchströmende Kältemittel wird durch das die Rücklaufleitung 49 durchströmende Kältemittel gekühlt. Das die Auslaßleitung 48 durchströmende Kältemittel wird außerdem durch das zweite Kühlsystem 42 gekühlt. Letzteres enthält speziell zwei Wärmetauscher 50 und 51, von denen der Wärmetauscher 50 an den Verdichter 52 angeschlossen ist.

Der Kälteapparat 40 arbeitet wie folgt: Bei angetriebenen Verdichtern 46 und 52 durchströmt das Kältemittel die Auslaßleitung 48. Die Temperatur des Kältemittels beträgt zum Abgabezeitpunkt etwa 300K, und das Kältemittel wird durch die Wärmetauscher 43, 50, 44 und 51 auf etwa 16K gekühlt. Durch den Wärmetauscher 45 wird das Kältemittel weiter auf etwa 5K herabgekühlt. Durch das Joule-Thomson-Ventil 47 wird das Kältemittel zur Expansion bzw. Ausdehnung gebracht, wobei sein Druck auf etwa 1 bar (98 kPa) abnimmt und seine Temperatur auf 4,2K eingestellt wird. Das Kältemittel wird dem Kondensations-Wärmetauscher 34 zugeführt und in diesem verdampft. Dabei wird die Wärmeleitfläche des Kondensations-Wärmetauschers 34 gekühlt. Hierdurch wird das im Kondensationsraum 35 enthaltene gasförmige Helium zu Flüssighelium kondensiert.

Der Flüssighelium-Behälter 23 kommuniziert über die Verbindungsleitung 55 mit dem Kondensationsraum 35. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3 umfaßt die Verbindungsleitung 55 ein zylindrisches Innenrohr 56 und ein zylindrisches Außenrohr 57, von denen letzteres einen größeren Innendurchmesser als das Innenrohr 56 aufweist und koaxial zu letzterem angeordnet ist. Die unteren Endabschnitte von Innen- und Außenrohr 56 bzw. 57 münden im Flüssighelium-Behälter 23. Die oberen Endabschnitte von Innen- und Außenrohr 56 bzw. 57 münden im Kondensationsraum 35. Bei der dargestellten Ausführungsform legt der Innenraum des Innenrohrs 56 einen Heliumgas-Strömungsweg bzw. -Durchgang 58 fest, während der Raum zwischen Außen- und Innenrohr 57 bzw. 56 einen Flüssighelium-Durchgang 59 festlegt. Im Flüssighelium-Behälter 23 ist somit eine Heliumgas-Leiteinrichtung angeordnet, welche das gasförmige Helium vom Flüssighelium trennt und das gasförmige Helium (oder Heliumgas) im Innenraum des Innenrohrs 56 leitet. Im Kondensationsraum 35 ist eine Flüssighelium-Leiteinrichtung vorgesehen, welche das Flüssighelium vom gasförmigen Helium trennt und ersteres in den Raum zwischen Außen- und Innenrohr 57 bzw. 56 leitet.

Das Außenrohr 57 weist einen Doppel(wand)aufbau aus einem ersten Rohr 61 und einem zweiten, letzteres umschließenden Rohr 62 auf. Das Innere des ersten Rohrs 61 ist auf diese Weise durch das zweite Rohr 62 gegenüber der Außenatmosphäre isoliert. Der untere Endabschnitt des Außenrohrs 57 (d.h. die unteren Endabschnitte von erstem und zweitem Rohr 61 bzw. 62) erstreckt sich in den Flüssighelium-Behälter 23 hinein. Der untere Endabschnitt des Innenrohrs 56 ragt über den unteren Endabschnitt des ersten Rohrs 61 nach unten. Am unteren Endabschnitt des Innenrohrs 56 ist ein Leitelement 63 montiert, um das im Behälter 23 verdampfte gasförmige Helium zum Innenraum des Innenrohrs 56 zu leiten und das längs der Außenfläche des Innenrohrs 56 absinkende oder abwärts strömende Flüssighelium vom gasförmigen Helium zu trennen. Das

Leitelement 63 besteht aus einem Kegelstumpf oder Kegelstumpf-Element 64, der ein offenes oberes Ende eines kleinen Durchmessers und ein unteres offenes Ende eines größeren Durchmessers aufweist. Das offene obere Ende ist dabei mit dem unteren Endabschnitt des Innenrohrs 56 verbunden. Außerdem weist das Leitelement 63 einen Zylinder 65 auf, der mit dem weiteren Abschnitt des Kegelstumpfes 64 verbunden ist und ein unteres offenes Ende mit einem größeren Innendurchmesser als der Außendurchmesser des Innenrohrs 56 aufweist. Aufgrund dieser Ausbildung wird das im Flüssighelium-Behälter 23 verdampfte gasförmige Helium im unteren Abschnitt des Leitelements bzw. des Zylinders 65 gesammelt und in das Innere des Innenrohrs 56 eingeführt. Das längs der Außenfläche des Innenrohrs 56 abwärts strömende Flüssighelium wird längs der Außenflächen von Kegelstumpf 64 und Zylinder 65 geführt und kann herabfließen, ohne vom gasförmigen Helium in Aufwärtsrichtung mitgerissen zu werden. Bei der Heliumgas-Leiteinrichtung ist somit das Leitelement 63 am unteren Endabschnitt des Innenrohrs montiert, welches den unteren Endabschnitt des ersten Rohrs 61 durchsetzt.

Im Mittelbereich der unteren Wand des Kondensationsraums 35 ist ein Zulaß 66 ausgebildet. Im Mittelbereich der unteren Wand der Vakuumkammer 36 ist eine Bohrung 67 vorgesehen, in welche das erste Rohr 61 des Außenrohrs 57 eingesetzt ist. Der obere Endabschnitt des ersten Rohrs 61 ist mit dem Zulaß 66 des Kondensationsraums 35 verbunden, ragt aber nicht in diesen Zulaß hinein. Der obere Endabschnitt des zweiten Rohrs 62 des Außenrohrs 57 ist an der unteren Wand der Vakuumkammer 36 angebracht. Der obere Endabschnitt des Innenrohrs 56 erstreckt sich in den Kondensationsraum 35 hinein und ist durch mehrere Halteelemente 68 gehalten. Aufgrund dieser Ausbildung ist das im Kondensationsraum 35 kondensierte Flüssighelium von dem über den oberen Endabschnitt des Innenrohrs 56 austretenden gasförmigen Helium getrennt, und es wird über den Zulaß 66 des Kondensationsraums 35 in das erste Rohr 61 eingeleitet. Die Flüssighelium-Leiteinrichtung ist mithin so ausgelegt, daß der obere Endabschnitt des ersten Rohrs 61 an den Zulaß 66 des Kondensationsraums 35 angeschlossen ist und sich der obere Endabschnitt des Innenrohrs 56 durch den Zulaß 66 hindurch in den Kondensationsraum 35 hinein erstreckt.

Das im Flüssighelium-Behälter 23 zu gasförmiger Phase verdampfte Helium wird im unteren Abschnitt des Leitelements 63 gesammelt bzw. aufgefangen und zum unteren Endabschnitt des Innenrohrs 56 geführt. Das gasförmige Helium strömt durch das Innenrohr 56 (Heliumgas-Durchgang 58) aufwärts und wird am oberen Endabschnitt des Innenrohrs 56 in den Kondensationsraum 35 entlassen. Dabei wird der Kälteapparat 40 betätigt, so daß die Temperatur der Wärmeleitfläche des Kondensations-Wärmetauschers 34 auf 4,2 K gehalten wird. Durch den Wärmetauscher 34 wird daher das gasförmige Helium wieder zu Flüssighelium kondensiert. Das Flüssighelium strömt von der unteren Wand des Kondensationsraums 35 nach unten und tritt in den oberen Endabschnitt (Zulaß 66) des ersten Rohrs 61 des Außenrohrs 57 ein. Sodann strömt das Flüssighelium unter Schwerkrafteinfluß durch den Zwischenraum (Flüssighelium-Durchgang 59) zwischen Innenrohr 56 und erstem Rohr 61 abwärts. Weiterhin strömt das Flüssighelium längs der Außenfläche des Kegelstumpfes 64 und der Außenfläche des Zylinders 65 nach

unten. Auf diese Weise wird der Flüssigkeitsspiegel im Flüssighelium-Behälter 23 konstant gehalten.

Der Heliumgas-Durchgang 58 ist vom Flüssighelium-Durchgang 59 in der Verbindungsleitung 55 getrennt. Der Flüssigheliumstrom wird daher durch das gasförmige Helium nicht gestört. Hierdurch wird die sogenannte Stauerscheinung verhindert. Auch wenn der Innendurchmesser der Verbindungsleitung 55 nicht vergrößert ist, wird die Kühlleistung des Heliumkühlgeräts nicht beeinträchtigt. Bei einem herkömmlichen Heliumkühlgerät, bei dem der Innendurchmesser des Außenrohrs 57 5 mm beträgt und dem Flüssighelium-Behälter 23 eine Wärmeenergie(menge) von 0,7 W oder mehr zugeführt wird, tritt dennoch eine Stauerscheinung auf. Dabei ist es schwierig, eine ausreichende Kühlleistung des Heliumkühlgeräts zu gewährleisten. Wenn beim erfindungsgemäßen Gerät das Außenrohr 57 einen Innendurchmesser von 5 mm aufweist und dem Flüssighelium-Behälter eine Wärmeenergie(menge) von 0,7 W oder mehr zugeführt wird, tritt dennoch die Stauerscheinung nicht auf. Infolgedessen weist das Heliumkühlgerät eine zufriedenstellende Kühlleistung auf.

Im folgenden ist eine zweite Ausführungsform der Erfindung anhand von Fig. 4 beschrieben.

Die Verbindungsleitung 55 weist dabei ein Innen- und ein Außenrohr 56 bzw. 57 auf. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 4 bildet jedoch der Innenraum des Innenrohrs 56 einen Flüssighelium-Strömungsweg oder -Durchgang 59, während ein Zwischenraum zwischen Innenrohr 56 und erstem Rohr 61 des Außenrohrs 57 einen Heliumgas-Durchgang 58 festlegt. Im Kondensationsraum 35 ist somit eine Flüssighelium-Leiteinrichtung vorgesehen, welche das Flüssighelium vom gasförmigen Helium trennt und ersteres in den Innenraum oder -durchgang des Innenrohrs 56 einführt. Im Flüssighelium-Behälter 23 ist eine Heliumgas-Leiteinrichtung vorgesehen, welche das gasförmige Helium vom Flüssighelium trennt und ersteres zum Raum zwischen Außen- und Innenrohr 57 bzw. 56 leitet.

Der obere Endabschnitt des ersten Rohrs 61 des Außenrohrs 57 ist mit dem Zulaß 66 des Kondensationsraums 35 verbunden. Der obere Endabschnitt des Innenrohrs 56 ist durch den Zulaß 66 hindurch in den Mittelbereich des Kondensationsraums 35 eingeführt. Am oberen Endabschnitt des Innenrohrs 56 ist eine Aufang-Mulde oder -Wanne 70 montiert, welche das kondensierte Flüssighelium auffängt und zum oberen Endabschnitt des Innenrohrs 56 leitet. Die Wanne 70 ist dabei unterhalb des Kondensations-Wärmetauschers 34 angeordnet und umfaßt eine konische Seitenwand 71 sowie eine Bodenwand 73 mit einer Öffnung 72, die mit dem oberen Endabschnitt des Innenrohrs 56 verbunden ist. Die Bodenwand 73 ist durch mehrere Halteelemente 74 gehalten. Das durch den Wärmetauscher 34 kondensierte Flüssighelium tropft dabei auf die Bodenwand 73 der Wanne 70. Das Flüssighelium wird zur Öffnung 72 geleitet und über diese in das Innenrohr 56 eingeführt. Das Flüssighelium wird dabei nicht durch das gasförmige Helium gestört, das vom oberen Endabschnitt (Zulaß 66) des ersten Rohrs 61 in den Kondensationsraum 35 eingeleitet wird. Bei der Flüssighelium-Leiteinrichtung ist somit die Wanne (oder Mulde) 70 an dem durch den Zulaß 66 in den Kondensationsraum 35 hineinreichenden oberen Ende des Innenrohrs 56 montiert.

Der untere Endabschnitt des Außenrohrs 57 (d.h. die unteren Endabschnitte von erstem und zweitem Rohr 61 bzw. 62) sind in den Flüssighelium-Behälter 23 eingesetzt bzw. in diesen hineingeführt. Der untere Endab-

schnitt des Innenrohrs 56 erstreckt sich dabei durch den unteren Endabschnitt des ersten Rohrs 61 in den Behälter 23 hinein. Das an der Innenseite des Innenrohrs 56 herabfließende Flüssighelium tritt am unteren Endabschnitt des Innenrohrs 56 aus. Dabei wird verdampft gasförmiges Helium automatisch in den Zwischenraum zwischen erstem Rohr 61 und Innenrohr 56 eingeführt. Bei der Heliumgas-Leiteinrichtung ist somit der untere Endabschnitt des Innenrohrs 56 durch den unteren Endabschnitt des ersten Rohrs 61 hindurch in den Flüssighelium-Behälter 23 eingeführt. Außerdem ist dabei der untere Endabschnitt des Innenrohrs 56 schräg geschnitten, d.h. der untere Endabschnitt des Innenrohrs 56 weist eine Schrägung 75 auf. Das Flüssighelium tropft daher vom unteren Ende des Innenrohrs 56 über eine kurze Strecke herab.

Das im Behälter 23 verdampfte gasförmige Helium wird in den Zwischenraum (d.h. Heliumgas-Durchgang 58) zwischen Innenrohr 56 und erstem Rohr 61 geleitet. Das gasförmige Helium strömt dabei im Raum zwischen Innenrohr 56 und erstem Rohr 61 aufwärts, um über den Zulaß 66 in den Kondensationsraum 35 einzutreten. Durch den Kondensations-Wärmetauscher 34 wird das gasförmige Helium durch Kondensation wieder in Flüssighelium überführt, das dann auf die Bodenwand 73 der Auffang-Wanne 70 herabtröpft. Das Flüssighelium wird über die Öffnung 72 in das Innenrohr 56 (d.h. Flüssighelium-Durchgang 59) eingeleitet, um durch das Innenrohr 56 abwärts zu strömen. Das Flüssighelium tritt sodann an der Schrägung 75 des Innenrohrs 56 in den Flüssighelium-Behälter 23 ein.

Ein Querschnittsflächenverhältnis der Strömungsweg- oder -durchgänge hat einen großen Einfluß auf die Strömungszustände der gasförmigen und flüssigen Heliumanteile. Erfindungsgemäß wurde die Beziehung zwischen diesem Verhältnis und der Kühlleistung des Heliumkühlgeräts untersucht. Für den Fall, daß der Innenraum des Innenrohrs als Heliumgas-Durchgang definiert ist und das erste Rohr 61 des Außenrohrs 57 einen Innendurchmesser von 5 mm besitzt, wurde die Beziehung zwischen der Kühlleistung des Heliumkühlgeräts und einem Verhältnis  $\frac{\text{Querschnittsfläche des Heliumgas-Durchgangs}}{[(\text{Querschnittsfläche des Heliumgas-Durchgangs}) + (\text{Querschnittsfläche des Flüssighelium-Durchgangs})]}$  berechnet. Das Ergebnis dieser Berechnung ist durch eine ausgezogene Linie in Fig. 5 dargestellt. In Fig. 5 ist in gestrichelter Linie die Kühlleistung eines herkömmlichen Geräts angegeben, das eine Verbindungsleitung (Innendurchmesser = 5 mm) aufweist, durch welche das gasförmige Helium zusammen mit dem Flüssighelium strömt. Wie sich aus einer Differenz zwischen den ausgezogenen und gestrichelten Linien in Fig. 5 ergibt, ist dann, wenn das genannte Verhältnis 50–60% entspricht, die Kühlleistung des erfindungsgemäßen Heliumkühlgeräts am größten, wobei sie etwa das 8-fache der Kühlleistung des herkömmlichen Geräts beträgt. Dabei kann vorausgesetzt werden, daß die Stauerscheinung in der Verbindungsleitung kaum auftreten kann. Wenn das genannte Verhältnis gemäß Fig. 5 vergrößert oder verkleinert wird, verschlechtert sich die Kühlleistung, weil der engere Strömungsweg oder -Durchgang leicht durch (flüssiges) Helium blockiert werden kann. Aus Fig. 5 geht jedoch auch hervor, daß das erfindungsgemäße Heliumkühlgerät auch bei einem Verhältnis entsprechend 15–75% eine größere Kühlleistung besitzt als das herkömmliche Gerät.

Erfindungsgemäß wurde ein weiterer Versuch mit dem Heliumkühlgerät gemäß der ersten Ausführungs-

form durchgeführt. Dabei betragen Innendurchmesser und Außendurchmesser des Innenrohrs der Verbindungsleitung jeweils 3,19 mm bzw. 3,75 mm. Innen- und Außendurchmesser des ersten Rohrs des Außenrohrs betragen 5 mm bzw. 6 mm. Bei diesem Versuch wurde im Betrieb des Heliumkühlgeräts die Beziehung zwischen dem im Flüssighelium-Behälter herrschenden Druck und der diesem Behälter zugeführten Wärmeenergie(menge) ermittelt. Das Versuchsergebnis ist in Fig. 6 graphisch dargestellt. Die Beziehung zwischen dem Druck im Flüssighelium-Behälter und der diesem Behälter zugeführten Energie(menge) im Betrieb des herkömmlichen Heliumkühlgeräts ist durch die gestrichelte Linie in Fig. 6 angegeben. Wie sich aus Fig. 6 ergibt, steigt beim herkömmlichen Gerät, wenn die dem Behälter zugeführte Wärmeenergie(menge) eine vorbestimmte Größe erreicht, der Druck im Behälter schlagartig an, wobei das Kühlgerät betriebsunwirksam wird und die sogenannte Stauerscheinung in der Verbindungsleitung auftritt. Beim erfindungsgemäßen Heliumkühlgerät steigt dagegen der Druck im Behälter nur geringfügig an, auch wenn die dem Behälter zugeführte Wärmeenergie(menge) vergrößert wird. Infolgedessen kann angenommen werden, daß (beim erfindungsgemäßen Gerät) die sogenannte Stauerscheinung kaum auftritt und die Kühlleistung des Heliumkühlgeräts nicht beeinträchtigt wird.

Hierdurch wird belegt, daß die Erfindung die oben erwähnte Wirkung zu gewährleisten vermag.

Die Erfindung ist keineswegs auf die vorstehend beschriebenen speziellen Ausführungsformen beschränkt. Außen- und Innenrohre der Verbindungsleitung können zylindrisch sein, wobei ihre Werkstoffe und Formen keinen speziellen Einschränkungen unterworfen sind. Die Auffang-Wanne kann eine beliebige Form aufweisen, sofern sie den unteren Abschnitt des Kondensations-Wärmetauschers überspannt und das herabtröpfende Flüssighelium in das Innenrohr zu führen vermag. Die Kälteleistung des Kälteapparats ist ebenfalls nicht auf etwa 4 W beschränkt.

- Leerseite -

3739070

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

37 39 070  
F 25 D 3/10  
17. November 1987  
26. Mai 1988

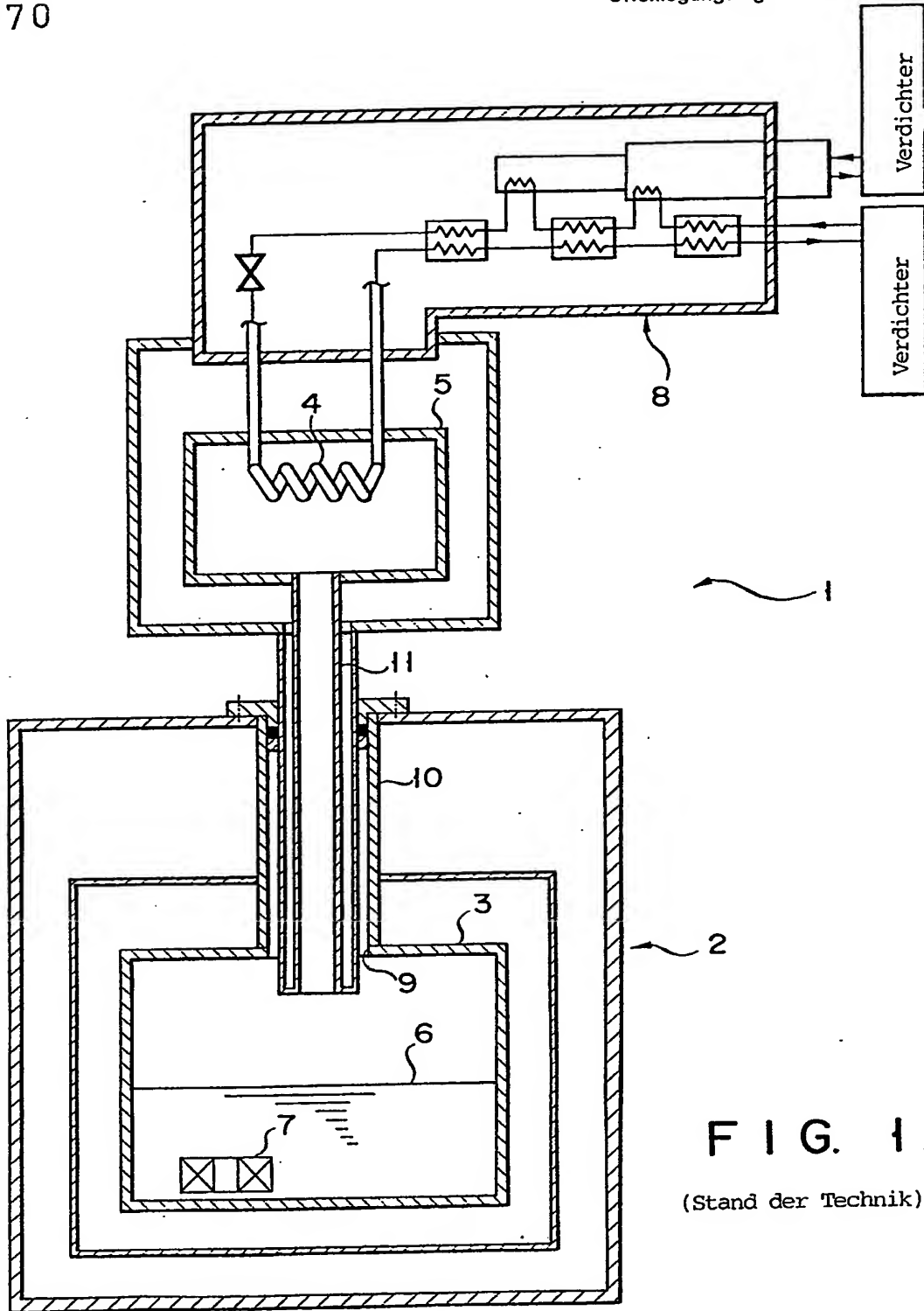


FIG. 1

(Stand der Technik)

17.11.87

44 11

24

3739070

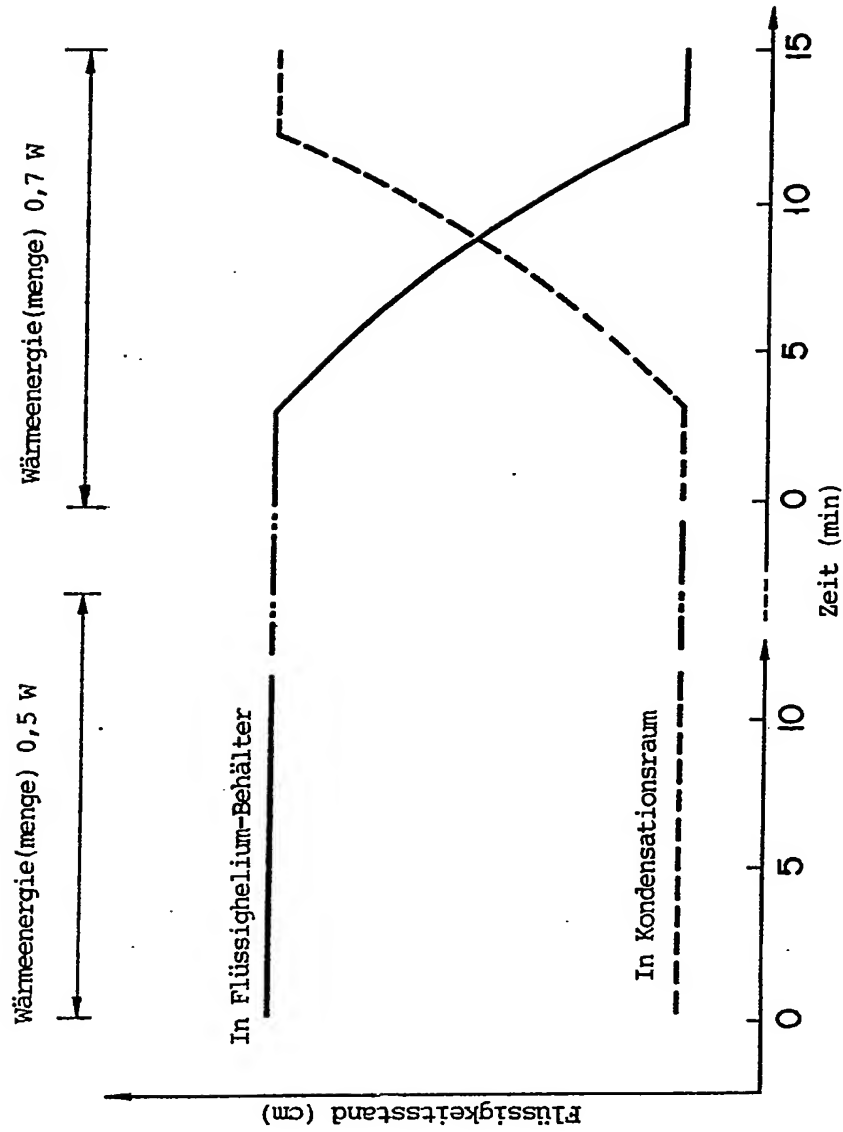


FIG. 2 (Stand der Technik)

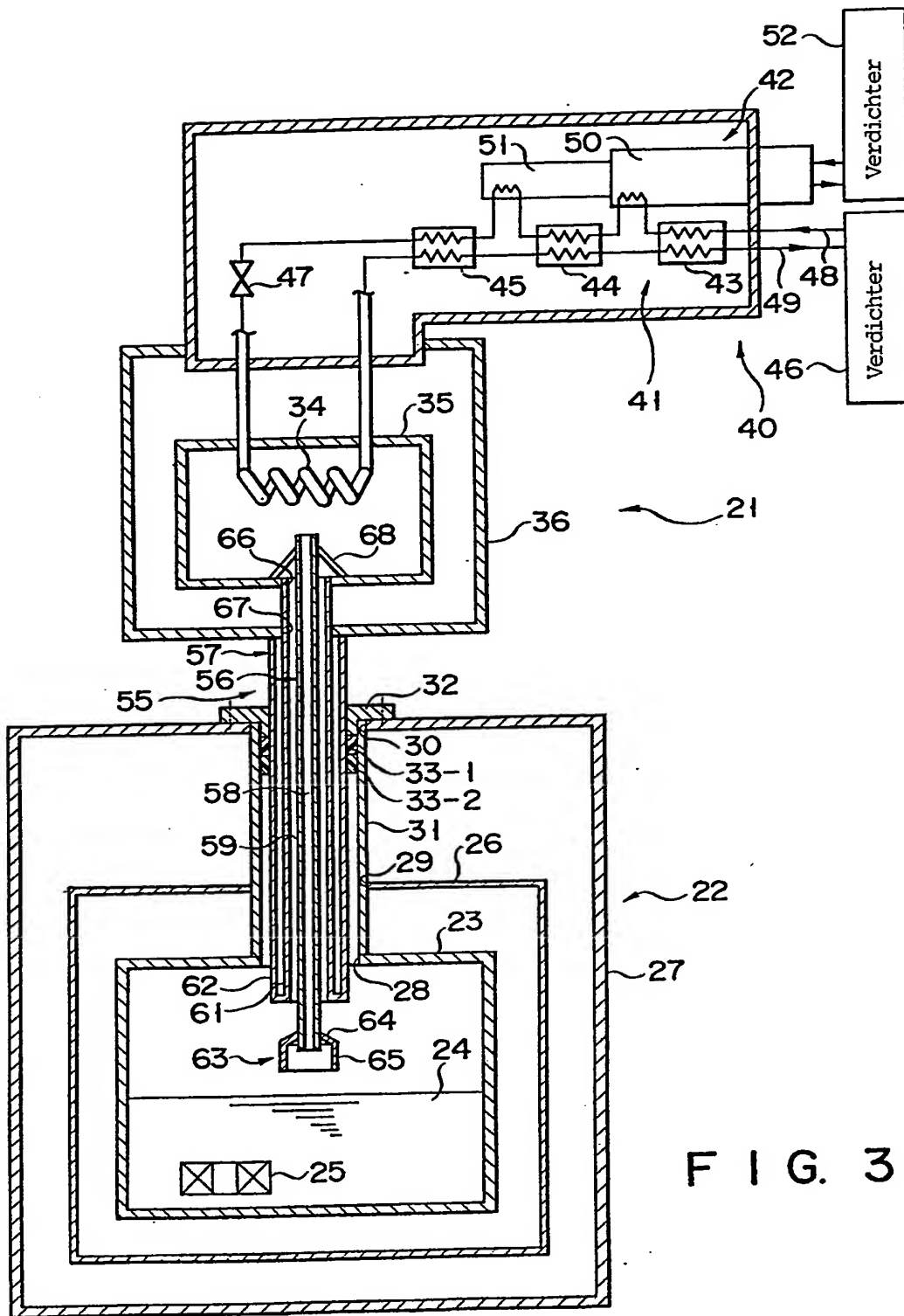


FIG. 3

17.11.87

3739070

26

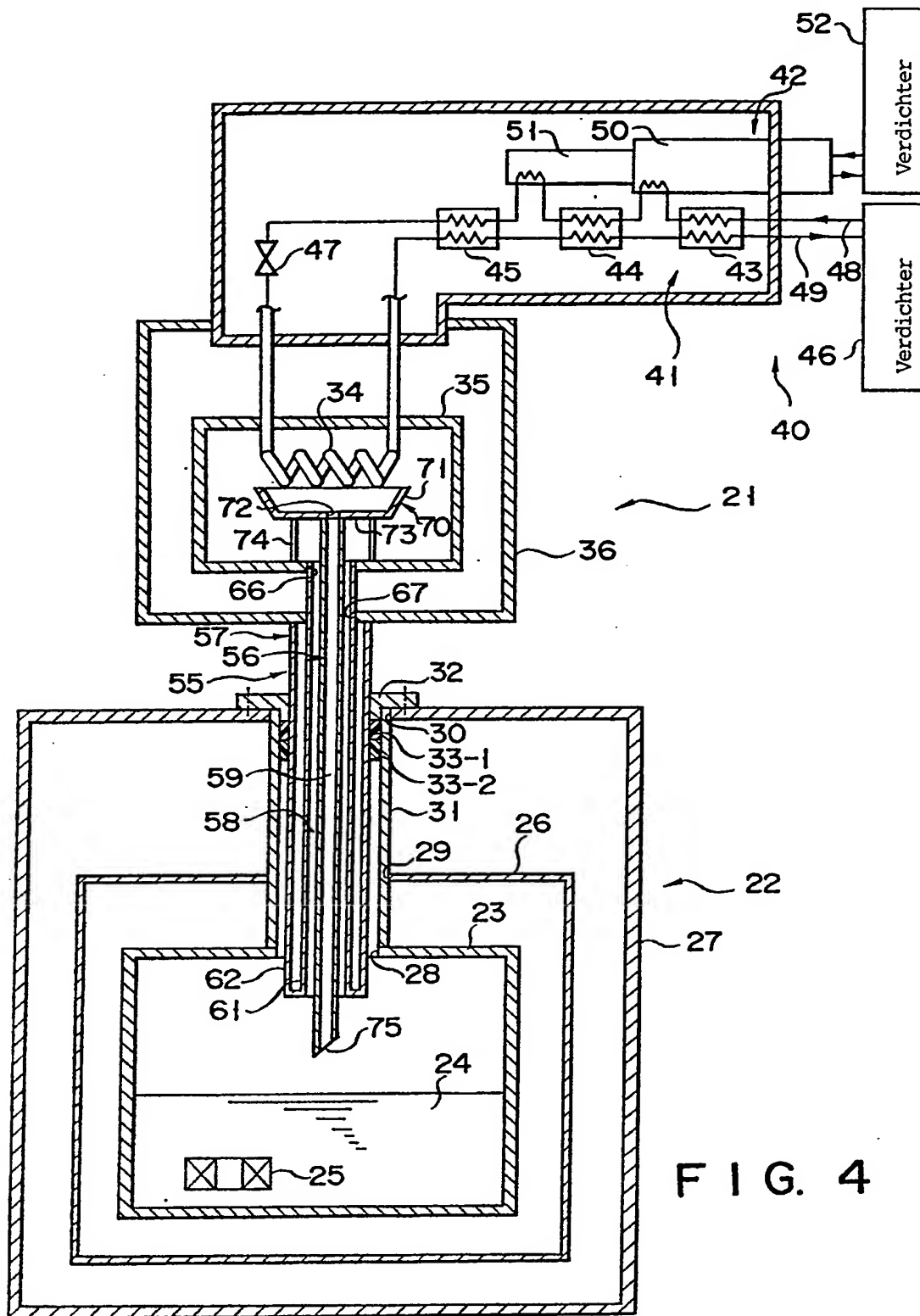


FIG. 4

27 1. 27  
3739070

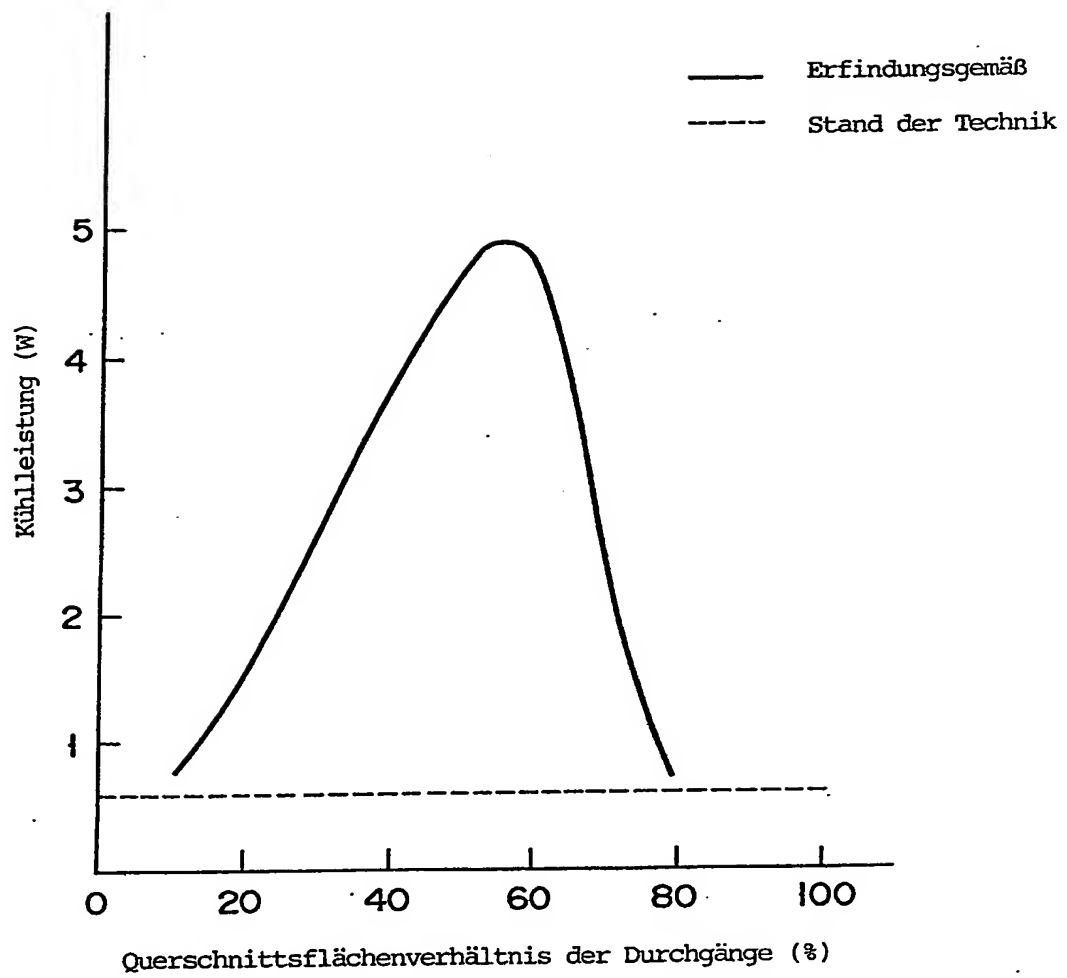


FIG. 5

17.11.87

Fig.: 28: 14

28

373907.0

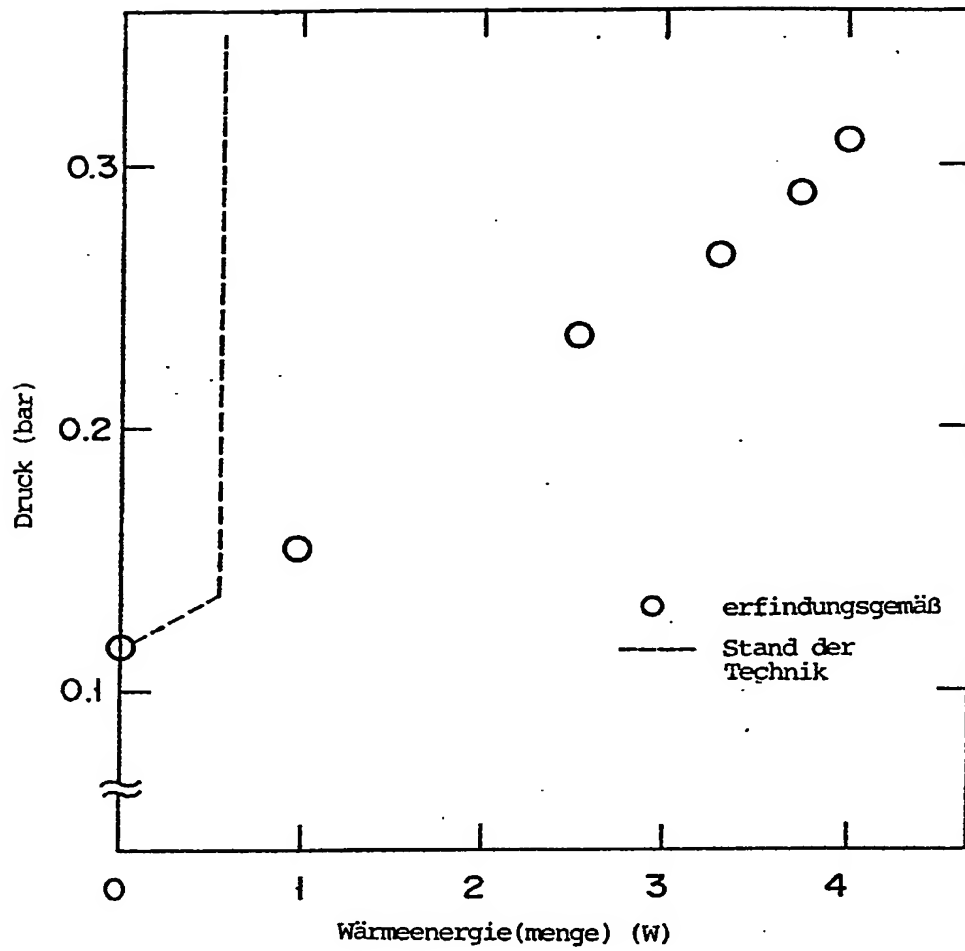


FIG. 6